

## คอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์ความปลอดภัยจากการเกิดไฟฟ้าสถิต

### Computer-Aided safety analysis of static electricity

นภสร สหพรพัฒนานุกุล<sup>a</sup>, ธงไชย โรหิตะดิษฐ์ ศรีนพคุณ<sup>b,\*</sup>

Noppasorn Sahapornwattananugoon<sup>a</sup>, Thongchai Rohitatissha Srinophakun<sup>b,\*</sup>

<sup>a</sup>ภาควิชาวิศวกรรมความปลอดภัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

<sup>b</sup>ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

<sup>a</sup>Department of Safety Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand

<sup>b</sup>Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand

\*Corresponding author. E-mail address: fengtcs@ku.ac.th

#### บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับระบบไฟฟ้าสถิตและการออกแบบเพื่อความปลอดภัยในอุตสาหกรรมการผลิต โดยใช้หลักการในการควบคุมความเร็วในการไหล ร่วมกับระบบกราวด์ดิน เพื่อลดปริมาณประจุไฟฟ้าสถิตสะสม ปัญหาสำคัญที่เกิดจากไฟฟ้าสถิตในโรงงานปิโตรเคมีคือประกายไฟ ซึ่งนำไปสู่การเกิดเพลิงไหม้และระเบิดได้ ซึ่งเป็นปัญหาที่ก่อให้เกิดความเสียหายอย่างมากต่อโรงงาน บทความนี้ได้ประยุกต์ใช้ภาษาไพทอน ในการคำนวณการคายประจุไฟฟ้าสถิต และค่าความต้านทานหลักดินที่เหมาะสมต่อกระบวนการทำงาน โดยนำเสนอในรูปแบบการใช้ภาพกราฟฟิก (Graphical User Interface, GUI) โดยมีการอ้างอิงตัวอย่างปัญหาจากหนังสือ Chemical Process Safety และ ประมวลหลักปฏิบัติวิชาชีพ ด้านการออกแบบ ติดตั้ง ตรวจสอบและทดสอบการต่อลงดิน พบว่าสามารถคำนวณพารามิเตอร์เกี่ยวกับระบบไฟฟ้าสถิตอย่างรวดเร็ว ถูกต้องและง่ายต่อการใช้งาน พร้อมทั้งนำไปใช้ในการออกแบบหลักดินให้เหมาะสม

**คำสำคัญ:** การต่อลงดิน, ความปลอดภัย, ไฟฟ้าสถิต, ภาษาไพทอน

#### Abstract

This article study about electrostatic systems and their design for safety in the manufacturing industry by utilizing the grounding system and control flow velocity to lessen the buildup of static charge, in order to reduce the accumulation of static charge. In petrochemical factories, static electricity cause sparks, which are a serious issue that can cause fires and explosions and significant plant damage. This article use Python for calculating electrostatic discharge and resistance of ground rod with example problem in the book Chemical Process Safety and Code of practice for design, installation, inspection and testing of grounding system. It is given using graphics (Graphical User Interface, GUI) for friendly user. The electrostatic parameters may be determined fast, dependable and simple to use moreover, it is properly used in the design of ground rod as well.

**Keywords:** Electrostatic, Grounding, Python, Safety

## คำนำ

ในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมมีไอร่ะเหยและฝุ่นละอองที่ติดไฟได้อยู่ในสภาพแวดล้อมการทำงานปกติ การสะสมประจุไฟฟ้าสถิตเป็นผลมาจากการแยกตัวนำที่ไม่ดี ออกจากตัวนำที่ดีหลังจากวัตถุสัมผัสกัน โดยอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ผ่านส่วนต่อประสานจากพื้นผิวหนึ่งไปยังอีกพื้นผิวหนึ่ง หากวัตถุหนึ่งเป็นฉนวนหรือตัวนำที่ไม่ดี อิเล็กตรอนจะไม่เคลื่อนที่และติดอยู่บนพื้นผิว ส่งผลให้มีวัตถุนั้นมีค่าประจุเป็นบวก และอีกวัตถุมีประจุเป็นลบ ทำให้วัตถุทั้งสองมีความต่างศักย์ทางไฟฟ้า หรือ มีขั้ว เกิดขึ้น (ทัศนีย์, 2562) หากนำวัตถุเข้ามาใกล้กันเพียงพอที่จะเกิดการถ่ายเทประจุในสภาพแวดล้อมที่สามารถติดไฟได้ การถ่ายเทประจุจะก่อให้เกิดประกายไฟ (spark) เมื่อองค์ประกอบในการติดไฟครบ ทำให้ไฟฟ้าสถิตเป็นสาเหตุหนึ่งของการเกิดเพลิงไหม้หรือการระเบิดของของเหลวไวไฟหรือของเหลวติดไฟ ที่มีกฎหมายห้าม แต่จากการสอบสวน การพิสูจน์และการทดลอง ก็พบว่าไฟฟ้าสถิตเป็นสาเหตุหลักสาเหตุหนึ่งที่เกิดเพลิงไหม้หรือการระเบิดซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายอย่างมากต่อโรงงานอุตสาหกรรม การเกิดประจุไฟฟ้าสถิตในของเหลวนั้น ก็สามารถเกิดขึ้นได้ในหลายกรณีเช่นกัน ตัวอย่างเช่น การถ่ายเทของเหลวหรือการไหลผ่านท่อ การเขย่าของเหลว ตลอดจนการเดินทางบนพื้นที่เป็นฉนวนก็สามารถเกิดประจุไฟฟ้าสถิตได้ ส่วนจะมีปริมาณของประจุไฟฟ้าสถิตมากน้อยเพียงใดนั้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณของเหลวและความเร็วในการเคลื่อนที่ของของเหลว ความเร็วที่มากเกินไปเป็นสาเหตุอันดับสองที่ก่อให้เกิดอันตรายจากไฟฟ้าสถิต (Yueqin Hu et al., 2013) วิธีการป้องกันการเกิดประกายไฟจากไฟฟ้าสถิต สามารถทำได้โดยทำความเข้าใจเกี่ยวกับไฟฟ้าสถิต และใช้ข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบกระบวนการผลิตให้มีความเร็วของอัตราการไหลของสารเคมี (จิตติวรดา, 2564) การเลือกใช้ขนาดหลักดินที่เหมาะสม รวมถึงการต่อสายดินและการต่อฝากเพื่อป้องกัน/ลด การสะสมของประจุไฟฟ้าสถิต โดยใช้ภาษา Python ในการออกแบบโปรแกรมที่ช่วยในการคำนวณสมการที่เกี่ยวข้อง เพื่อช่วยในการคำนวณสามารถทำได้อย่างรวดเร็วและถูกต้องสามารถใช้งานได้ง่าย เป็นประโยชน์ในการป้องกันอันตรายที่เกิดขึ้นจากไฟฟ้าสถิตในโรงงานอุตสาหกรรม

## อุปกรณ์และวิธีการ

ประกายไฟที่เกิดจากไฟฟ้าสถิต จะเกิดจากการปลดปล่อยไฟฟ้าสถิต(Electrostatic Discharge) ประจุส่วนเกินจะถูกทำให้เป็นกลางโดยการไหลของประจุจากวัตถุไปยังสภาพแวดล้อม พลังงานที่เก็บไว้ในรูปไฟฟ้าสถิตบนวัตถุหนึ่งจะแปรผันขึ้นอยู่กับขนาดของวัตถุและค่าคาปาซิแตนซ์ แรงดันไฟฟ้าที่ใช้ใส่ประจุและค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของตัวกลางโดยรอบ วัตถุขนาดที่ใหญ่กว่าจะเก็บพลังงานได้มากกว่า ซึ่งอาจเป็นอันตรายโดยตรงจากการสัมผัสของมนุษย์ หรืออาจจะทำให้ประกายไฟที่สามารถจุดชนวนก๊าซหรือฝุ่นละอองไวไฟ ซึ่งสามารถป้องกันได้โดยการคำนวณค่าพลังงานที่เกิดขึ้นจากการปลดปล่อยไฟฟ้าสถิต และ การออกแบบการต่อลงดิน

### การคำนวณระบบไฟฟ้าสถิต

หาค่าเวลาผ่อนคลายคือเวลาสำหรับประจุไฟฟ้าที่จะกระจายไปโดยการรั่วไหลสามารถคำนวณได้จาก

Equation 1:

$$\tau = \frac{\epsilon_r \epsilon_0}{\gamma_c} \quad (1)$$

โดยที่  $\tau$  = เวลาผ่อนคลาย (วินาที)

$\epsilon_r$  = ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (ไม่มีหน่วย)

$\epsilon_0$  = สภาพยอมของสุญญากาศ ( $8.85 \times 10^{-12}$  coulomb<sup>2</sup>/Nm<sup>2</sup> =  $2.7 \times 10^{-12}$  coulomb/volt ft)

$\gamma_c$  = ความสามารถในการนำไฟฟ้าของของเหลว (โอห์ม/ซ.ม.)

เมื่อได้ค่าเวลาผ่อนคลายมาแล้ว จึงนำค่าที่ได้มาใช้ในการหาค่ากระแสที่เกิดขึ้นขณะถ่ายเทของเหลว ( $I_s$ ) โดยสามารถคำนวณได้จาก Equation 2 และหาค่าความต้านทานจาก Equation 3:

$$I_s = \frac{10 \cdot 10^{-6} \text{ amp}}{(m/s)^2 (m)^2} (ud)^2 \left[ 1 - \exp\left(-\frac{L}{u\tau}\right) \right] \quad (2)$$

โดยที่  $I_s$  = กระแสไหล (แอมแปร์)

$u$  = ความเร็ว (เมตร/วินาที)

$d$  = เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (เมตร)

$L$  = ความยาวท่อ (เมตร)

$$R = \frac{L}{\gamma_c A} \quad (3)$$

โดยที่  $\gamma_c$  = ความสามารถในการนำไฟฟ้าของของเหลว (โอห์ม/ซ.ม.)

$L$  = ความยาวของตัวนำ (ซ.ม.)

$A$  = พื้นที่ของตัวนำ (ตร.ซ.ม.)

$R$  = ความต้านทาน (โอห์ม)

จากนั้นจึงนำค่า  $I_s$  และค่า  $R$  ที่คำนวณได้มาใช้ในการหาค่าแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นขณะถ่ายเทของเหลว ( $V$ ) จากการที่ของเหลวไหลผ่านท่อซึ่งส่งผลให้มีประจุสะสมบริเวณท่อซึ่งสามารถคำนวณได้จาก Equation 4:

$$V = I_s R \quad (4)$$

การคำนวณแรงดันไฟฟ้าของวัตถุทรงกลมสามารถคำนวณได้จาก Equation 5 และความจุได้จาก Equation 6:

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{\epsilon_r r} \quad (5)$$

$$C = 4\pi\epsilon_0\epsilon_r r \quad (6)$$

การคำนวณแรงดันไฟฟ้าสำหรับสองแผ่นคู่ขนาน สามารถคำนวณได้จาก Equation 7 และความจุได้จาก Equation 8:

$$V = \frac{QL}{\epsilon_r \epsilon_0 A} \quad (7)$$

$$C = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 A}{L} \quad (8)$$

โดยที่  $\epsilon_r$  = ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (ไม่มีหน่วย)

$\epsilon_0$  = สภาพยอมของสุญญากาศ ( $8.85 \times 10^{-12}$  coulomb<sup>2</sup>/Nm<sup>2</sup> =  $2.7 \times 10^{-12}$  coulomb/volt ft)

$r$  = รัศมีทรงกลม

$C$  = ความจุ

$L$  = ความหนาของไดอิเล็กตริก

$A$  = พื้นที่ของพื้นผิว

$V$  = แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)

การคำนวณประจุสำหรับภาชนะที่มีทางเข้า-ออก หลายทาง สามารถคำนวณได้จาก Equation 9:

$$\frac{dQ}{dt} = \sum^n I_{S_{i,in}} - \sum^m I_{S_{j,out}} - \frac{Q}{\tau} \quad (9)$$

โดยที่  $I_{S_{i,in}}$  = กระแสไหลเข้าถึงผ่านทางเข้า  $i$  ในชุดของ  $n$

$I_{S_{j,out}}$  = กระแสที่ออกจากทางออก  $j$  ในชุดของ  $m$

$\frac{Q}{\tau}$  = การสูญเสียประจุที่เกิดจากการคลายประจุ

$\tau$  = เวลาผ่อนคลาย (วินาที)

ขั้นตอนสุดท้ายในการหาค่าพลังงานสะสมในตัวเก็บประจุ คือการนำค่าของตัวแปรที่เกี่ยวข้องมาหาคำนวณใน Equation 10–12 โดยจะใช้ค่าที่ได้ในการประเมิน หากค่าที่ได้มีค่ามากกว่า 0.1 มิลลิจูล จะถือว่ากระบวนการดังกล่าวมีความเสี่ยงต่อการติดไฟหรือจุดระเบิดของไอระเหยในอากาศ (Crowl and Louvar, 2011).

$$J = \frac{1}{2} C V^2 \quad (10)$$

$$J = \frac{1}{2} Q V \quad (11)$$

$$J = \frac{1}{2} \left( \frac{Q^2}{C} \right) \quad (12)$$

โดยที่  $J$  = พลังงาน (จูล)

$C$  = ค่าความจุ (ฟารัด)

$V$  = ความต่างศักย์ (โวลต์)

$Q$  = ประจุ (คูลอมบ์)

#### การออกแบบหลักดิน

หลังจากทำการคำนวณพลังงานที่เกิดขึ้นจากการปลดปล่อยไฟฟ้าสถิตได้แล้ว หากค่าที่ได้มีสามารถก่อให้เกิดการจุดติดไฟ หรือ ระเบิดขึ้นได้ ต้องมีการลดประจุไฟฟ้าสถิตในระบบด้วยการต่อลงดิน พื้นดินสามารถแบ่งได้เป็นหลายชั้น ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีในสภาวะที่แห้ง แต่หากมีความชื้นหรือมีสารละลายเกลือก็จะกลายเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี อีกทั้งอุณหภูมิก็มีผลต่อคุณสมบัติการนำไฟฟ้าด้วย ดังนั้นจึงต้องมีการวัดค่าความต้านทานจำเพาะของดิน หรือ สามารถเทียบค่าได้จากค่าความต้านทานจำเพาะของดินประเภทต่างๆ หากค่าความต้านทานจำเพาะของดินมีค่าต่ำ จะเป็นผลดีกับระบบการต่อลงดิน และการติดตั้งหลักดิน มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย กำหนดค่าความต้านทานของหลักดินกับดิน (Resistance to ground) ต้องไม่เกิน 5 โอห์ม แต่มีข้อยกเว้นในพื้นที่ยากในการปฏิบัติ ยอมให้ค่าความต้านทานของ

หลักดินกับดินตอมไม่เกิน 25 โอห์ม หากคำนวณจำนวน 1 แท่ง แล้วค่าความต้านทานยังสูงกว่าค่าที่กำหนด ต้องเพิ่มแท่งหลักดินขนานกัน และต่อฉากถึงกันโดยเว้นระยะห่างไม่น้อยกว่าความยาวของแท่งหลักดิน (สภาวิศวกร, 2554)

แท่งหลักดินตามแนวลึกในเนื้อดินมีความต้านทานจำเพาะสม่ำเสมอ สามารถคำนวณได้จาก Equation 13:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left( \ln \frac{4L}{a} - 1 \right) \quad (13)$$

หลักดินฝังลึกตามแนวผิวดิน เนื่องจากหลักดินชนิดนี้ได้รับผลกระทบจากสภาพอากาศอย่างมาก ดังนั้นเมื่อต้องการวัดความต้านทาน จะคิดเสมือนว่าหลักดินนี้ติดตั้งอยู่ที่ผิวดิน คือไม่คำนึงถึงระยะความลึกที่ฝังหลักดิน สามารถคำนวณได้จาก Equation 14:

$$R = \frac{\rho}{\pi L} \left( \ln \frac{2L}{a} - 1 \right) \quad (14)$$

โดยที่  $R$  คือ ค่าความต้านทานของหลักดิน (โอห์ม)

$L$  คือ ความยาวของแท่งหลักดิน (โอห์ม)

$a$  คือ รัศมีของแท่งหลักดิน (เมตร)

$\rho$  คือ ค่าความต้านทานจำเพาะของดิน (โอห์มเมตร)

#### ภาษาไพทอน (Python)

ภาษาไพทอนได้รับอิทธิพลมาจากภาษา ABC ซึ่งมีความสามารถในการจัดการเกี่ยวกับข้อผิดพลาดของโปรแกรม (Exception handling) ได้ดี และดึงเอาความสามารถเด่นๆ ของภาษาระดับสูงอื่นๆ มาประยุกต์ดัดแปลงใช้กับภาษาไพทอนด้วย ส่งผลให้ไพทอนเป็นภาษาที่นิยม และใช้งานกันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นภาษาที่สามารถเรียนรู้ได้ง่าย รวดเร็ว รูปแบบการเขียนโปรแกรมมีความกระชับ และมีประสิทธิภาพสูง จากการนำเอาคุณลักษณะเด่นของภาษาอื่นๆ มาเป็นพื้นฐานในการพัฒนาต่อยอด ไพทอนถูกพัฒนาขึ้นมาโดยไม่ขึ้นกับแพลตฟอร์ม กล่าวคือ สามารถทำงานได้ทั้งบนระบบปฏิบัติการตระกูลวินโดวส์ ยูนิกซ์-ลินุกซ์ และ แมคด้วย ทำให้สามารถนำภาษาไพทอนมาพัฒนาโปรแกรมได้โดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย จึงทำให้มีการนำไปใช้กันอย่างแพร่หลาย

#### ทดสอบการใช้งานโปรแกรม ประเมินผล และดำเนินการแก้ไข

การทดสอบการใช้งานโปรแกรมการคำนวณพารามิเตอร์เกี่ยวกับระบบไฟฟ้าสถิต โดยทดสอบการใช้งานกับตัวอย่างการคำนวณเกี่ยวกับไฟฟ้าสถิตจากหนังสือ Chemical Process Safety (Crowl and Louvar, 2011) และการคำนวณหาค่าความต้านทานของหลักดินเพื่อใช้ในการกำหนดจำนวนแท่งหลักดินที่ต้องใช้จากประมวลหลักปฏิบัติวิชาชีพด้านการออกแบบติดตั้ง ตรวจสอบและทดสอบการต่อลงดิน (สภาวิศวกร, 2554) เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและความแม่นยำในการออกแบบของโปรแกรมการคำนวณด้วยภาษาไพทอน นำผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองใช้งานมาพัฒนา และแก้ไขข้อบกพร่องของโปรแกรม

#### ผลและวิจารณ์การทดลอง

บทความนี้ประยุกต์ใช้ภาษาไพทอนในการคำนวณพารามิเตอร์เกี่ยวกับระบบไฟฟ้าสถิต ซึ่งอ้างอิงจากตัวอย่างปัญหาจากหนังสือ โดยพัฒนาระบบการติดต่อสื่อสารระหว่างผู้ใช้งานกับเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อให้ง่ายสำหรับผู้ใช้งาน

เมื่อผู้ใช้งานเริ่มใช้โปรแกรมจะปรากฏหน้าต่าง GUI เพื่อดำเนินการป้องกันพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้าสถิตและการคำนวณค่าความต้านทานของหลักดิน

ตัวอย่างที่ 1 จากหนังสือ Crowl and Louvar (2011) ประเมินความจุของคน (สูง 6 ฟุต 2 นิ้ว) ยืนอยู่บนพื้นไม้แห้ง ผลการคำนวณของโปรแกรม

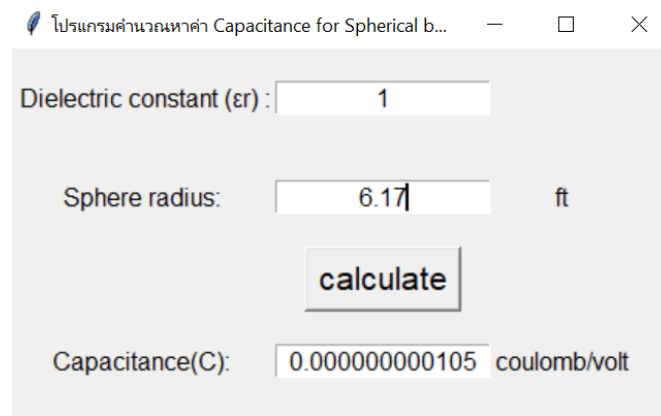


Fig. 1 Graphic user interface for calculate Capacitance

ตัวอย่างที่ 2 จากหนังสือ Crowl and Louvar (2011) กำหนดให้แรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างหัวฉีดที่มีประจุและถังที่มีสายดิน ดังแสดงใน Fig. 2 และ คำนวณพลังงานสะสมที่หัวฉีดและของเหลว พร้อมทั้งอธิบายอันตรายที่อาจเกิดขึ้นในกระบวนการนี้ สำหรับอัตราการไหลที่ 1 gpm

ข้อมูลคือ : ท่อยาว 20 ฟุต เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 2 นิ้ว ค่าความนำไฟฟ้าของของเหลว :  $10^{-10}$  โอห์ม/ซม.

ค่าคงที่ได้อิเล็กทริก  $\epsilon_r$  : 25.7 และ ความหนาแน่น 0.88 กรัม/ลบ.ซม.

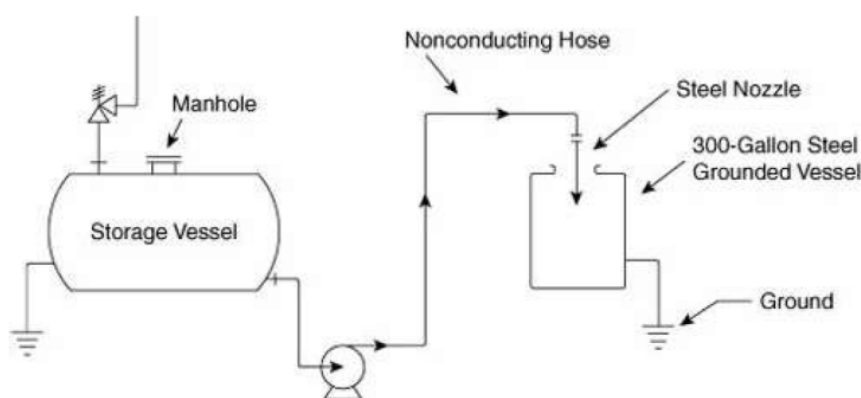


Fig. 2 System for Example 2

## ผลการคำนวณของโปรแกรม

โปรแกรมคำนวณหาค่า voltage และ energy stored(J)

|                           |                 |        |
|---------------------------|-----------------|--------|
| flowrate (u)              | 1               | gpm    |
| House length (L):         | 20              | ft     |
| House diameter (d):       | 2               | in     |
| Liquid conductivity (Yc): | 0.00000001      | mho/cm |
| Dielectric constant (εr): | 25.7            |        |
| Density :                 | 0.88            | g/cm3  |
| <a href="#">calculate</a> |                 |        |
| Voltage (V) :             | 0.075           | volt   |
| The energy stored(J) :    | 0.0000000005680 | mJ     |

Fig. 3 Graphic user interface for calculate Voltage and energy stored

ตัวอย่างที่ 3 สภาวิศวกร (2554) กำหนดให้แท่งหลักดิน 1 แท่ง ยาว 2.4 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร กำหนดให้ความต้านทานจำเพาะของดินมีค่า 100 โอห์มเมตร จงหาความต้านทานของหลักดิน

ผลการคำนวณของโปรแกรม

คำนวณหาความต้านทานแท่งหลักดินฝังตามแนวลึก

|                                |       |           |
|--------------------------------|-------|-----------|
| Specific Soil Resistance (p) : | 100   | ohm meter |
| Length of ground rod (L):      | 2.4   | meter     |
| Radius of ground rod (a):      | 0.008 | meter     |
| <a href="#">calculate</a>      |       |           |
| Resistance of ground rod (R):  | 40.41 | ohm       |

Fig. 4 Graphic user interface for Resistance of ground rod

## สรุป

บทความนี้ได้ทำการออกแบบระบบการติดต่อสื่อสารระหว่างผู้ใช้งานกับเครื่องคอมพิวเตอร์ (Graphical User Interface, GUI) โดยใช้ภาษาไพทอนในการคำนวณพารามิเตอร์เกี่ยวกับระบบไฟฟ้าสถิต และการออกแบบหลักดินที่เหมาะสมต่อกระบวนการทำงานซึ่งจะช่วยลดอันตรายจากการเกิดเพลิงไหม้หรือระเบิดจากการปลดปล่อยไฟฟ้าสถิตในอุตสาหกรรมการผลิต โดยมีการอ้างอิงตัวอย่างปัญหาจากหนังสือของ Crowl and Louvar (2011) และ สภาวิศวกร

(2554) พบว่าสามารถคำนวณพารามิเตอร์เกี่ยวกับระบบไฟฟ้าสถิตอย่างรวดเร็วและถูกต้อง เพื่อพัฒนาการคำนวณให้ดียิ่งขึ้น ควรมีการเชื่อมโยงกับฐานข้อมูลเกี่ยวกับสารเคมีที่มีการปรับปรุงฐานข้อมูลให้เป็นปัจจุบันอยู่เสมอ

### เอกสารอ้างอิง

ฐิติวรดา ทองเสนา. 2564. การประยุกต์ Python เพื่อคำนวณพารามิเตอร์เพลิงไหม้และระเบิด. วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ทัศนีย์ เจนบ้านฝื่อ. 2562. การศึกษาสาเหตุและการลดการเกิดประจุไฟฟ้าสถิตในกระบวนการผลิตเทปพันสายไฟ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สภาวิศวกร. 2554. ประมวลหลักปฏิบัติวิชาชีพ ด้านการออกแบบ ติดตั้ง ตรวจสอบและทดสอบการต่อลงดิน. <https://blog.rmutl.ac.th/montri/old/download/20120327105753-1.pdf>, 19 กันยายน 2565.

Crowl, D.A., Louvar, J.F. 2011. Chemical process safety, Fundamentals with Applications, 3<sup>rd</sup> ed., Paul Boger. Westford, Massachusetts, USA. pp. 723.

NFPA 77. 2019. Recommended Practice on Static Electricity. Quincy Massachusetts, USA

Hu, Y., Wang, D., Li, J., Gao, L. 2013. A case study of electrostatic accidents in the process of oil-gas storage and transportation. In: 7<sup>th</sup> international Conference on Applied Electrostatics. Shanghai, China